

P2003,0641

BEST AVAILABLE COPY

1

Beschreibung

Differenzverstärkeranordnung

- 5 Die vorliegende Erfindung betrifft eine Differenzverstärkeranordnung.

Differenzverstärker mit einstellbarer Verstärkung, die eine hohe Genauigkeit bieten, werden auch als Instrumenten-
10 Verstärker oder Instrumentation Amplifier bezeichnet. Derartige Differenzverstärker unterliegen üblicherweise der Forderung, daß ein hoher Aussteuerbereich am Ausgang des Verstärkers vorgesehen ist. Verstärker, deren Aussteuerbereich praktisch das gesamte Versorgungsspannungsintervall umfaßt, mit
15 dem der Verstärker gespeist wird, werden als sogenannte Rail-to-Rail-Verstärker bezeichnet.

Insbesondere bei derartigen, hochpräzisen Differenzverstärkern können in nachteilhafter Weise Gleichtakt-Offsets am
20 Eingang zu unerwünschten Verfälschungen des Signals führen.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Differenzverstärkeranordnung anzugeben, bei der eine präzise Offset-Kompensation möglich ist.

25

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe gelöst durch eine Differenzverstärkeranordnung, aufweisend:

- eine Eingangsstufe mit einem ersten Differenzverstärker, mit einer Offset-Kompensationsstufe, die zumindest eine
30 steuerbare Stromquelle umfaßt und an einem Bias-Eingang des ersten Differenzverstärkers angeschlossen ist und
- eine Ausgangsstufe mit einem zweiten Differenzverstärker, die der Eingangsstufe nachgeschaltet ist.

35 Gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip ist eine genaue Programmierung des Offsets des Verstärkers und damit auch eine präzise Korrektur eines am Eingang auftretenden Offsets möglich.

P2003,0641

2

Dabei ist die Differenzverstärkeranordnung mehrstufig aufgebaut mit einer Eingangsstufe und einer Ausgangsstufe, welche jeweils einen Differenzverstärker umfassen.

5

Die Differenzverstärker der Ein- und Ausgangsstufe sind bevorzugt derart miteinander verschaltet, daß ein sogenannter Instrumentation Amplifier gebildet ist.

10

Der Differenzverstärker der Eingangsstufe ist bevorzugt als sogenannter Rail-to-Rail-Amplifier ausgeführt.

15

Die Differenzverstärkeranordnung ist bevorzugt symmetrisch aufgebaut derart, daß differenzielle Signale verarbeitet werden können.

20

Der Differenzverstärker der Eingangsstufe umfaßt bevorzugt eine negative Rückkopplung, wofür ein Rückführungszweig einen Ausgang des Differenzverstärkers mit einem Eingang koppelt.

25

Der Rückführungszweig umfaßt bevorzugt ein programmierbares Widerstandsnetzwerk. Dadurch kann die Verstärkung der Eingangsstufe in hochgenauer Weise eingestellt oder programmiert werden.

30

Das programmierbare Widerstandsnetzwerk ist bevorzugt als Serienschaltung mehrerer Widerstände ausgeführt, bei der zwischen den Widerständen jeweils Abgriffe vorgesehen sind. Diese Serienschaltung der mehreren Widerstände ist bevorzugt so in den Rückführungszweig des Differenzverstärkers der Eingangsstufe geschaltet, daß in Abhängigkeit von der gewünschten Verstärkung derjenige Abgriff wirksam in die Rückführung geschaltet wird, der gerade die gewünschte Verstärkung bietet.

35

Bevorzugt ist der Ausgangsanschluß des Differenzverstärkers der Eingangsstufe fest mit der Serienschaltung der mehreren

P2003,0641

3

Widerstände verbunden, während ein invertierender Eingang dieses Differenzverstärkers umschaltbar mit einem Abgriff des programmierbaren Widerstandsnetzwerks schaltbar verbunden ist.

5

Als Schalter ist bevorzugt ein Multiplexer vorgesehen.

Der Differenzverstärker der Eingangsstufe umfaßt bevorzugt zwei Operationsverstärker.

10

Die beiden Operationsverstärker haben bevorzugt je einen nicht-invertierenden Eingang und je einen invertierenden Eingang. Die nicht-invertierenden Eingänge bilden gemeinsam einen symmetrischen Signaleingang der gesamten Differenzverstärkeranordnung zur Zuführung eines differenziellen Signals.

15

Die invertierenden Eingänge sind bevorzugt in je einem Rückführungszweig mit dem jeweiligen Ausgang des Operationsverstärkers verbunden. Das programmierbare Widerstandsnetzwerk ist dabei bevorzugt doppelt vorgesehen und jedem der beiden Operationsverstärker im Rückführungszweig zugeordnet.

20

Gemäß einer weiteren, bevorzugten Weiterbildung des vorgeschlagenen Prinzips ist der Bias-Eingang des ersten Differenzverstärkers sowohl am invertierenden Eingang des ersten Operationsverstärkers, als auch am invertierenden Eingang des zweiten Operationsverstärkers gebildet.

25

Dabei ist bevorzugt je zumindest eine steuerbare Stromquelle an jeden invertierenden Eingang der beiden Operationsverstärker angeschlossen.

30

Die Offset-Kompensationsstufe umfaßt bevorzugt eine Brückenschaltung. Dabei sind zwei Serienschaltungen mit je zwei programmierbaren Stromquellen vorgesehen, zwischen denen jeweils ein Abgriffsknoten gebildet ist. Die beiden Abgriffsknoten

35

P2003,0641

4

sind mit je einem invertierenden Eingang der beiden Operationsverstärker gekoppelt.

Die vier programmierbaren Stromquellen sind bevorzugt bezüglich der Höhe des von ihnen gelieferten Stroms programmierbar und zudem weiter bevorzugt abschaltbar ausgeführt. Hierfür ist bevorzugt je eine Serienschaltung eines Schalters und einer programmierbaren Stromquelle zwischen die Bias-Eingänge der beiden Operationsverstärker und einen jeweiligen Versorgungsgangs- oder Bezugspotentialanschluß geschaltet.

Der Differenzverstärker der Ausgangsstufe der Verstärkeranordnung umfaßt bevorzugt ebenfalls Mittel zur Programmierung seines Verstärkungsfaktors.

Hierfür ist bevorzugt eine negative Rückführung am Differenzverstärker der Ausgangsstufe vorgesehen, die einen programmierbaren Widerstand umfaßt. Der programmierbare Widerstand ist bevorzugt mit einem Digital-/Analog-Wandler einstellbar, der im Rückführungszweig des Differenzverstärkers der Ausgangsstufe angeordnet ist.

Gemäß einer bevorzugten Weiterbildung des vorgeschlagenen Prinzips umfaßt die Ausgangsstufe Mittel zum Einstellen eines Gleichtaktsignals, englisch: common-mode signal.

Zum Einstellen des Gleichtaktsignals kann die Ausgangsstufe mehrere, hintereinandergeschaltete Verstärkerstufen umfassen, welche in einer Gleichtakt-Rückführungsschleife miteinander verkoppelt sind.

Bevorzugt wird ein Gleichtaktpegel bereitgestellt, welcher der halben Versorgungsspannung entspricht.

Gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip wird eine grobe Verstärkungsregelung bevorzugt in der Eingangsstufe durchgeführt und eine Fein-Einstellung des Verstärkungsfaktors in der Aus-

P2003,0641

5

gangsstufe bewirkt. Zudem umfaßt die Eingangsstufe einen Schaltkreis zur Offset-Korrektur. Die Ausgangsstufe verstärkt das bereits Offset-korrigierte Signal der Eingangsstufe weiter.

5

Weitere Einzelheiten und vorteilhafte Ausgestaltungen des vorgeschlagenen Prinzips sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen an mehreren Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

Figur 1 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels einer Differenzverstärkeranordnung gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel der Eingangsstufe einer Differenzverstärkeranordnung gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip,

Figur 3 ein Ausführungsbeispiel der Ausgangsstufe einer Differenzverstärkeranordnung gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip und

Figur 4 ein Ausführungsbeispiel eines Blockschaltbilds eines universellen Analog-Frontends, in dem mehrere Differenzverstärkeranordnungen gemäß vorgeschlagenem Prinzip an analogen Signaleingängen vorgesehen sind.

Figur 1 zeigt eine Differenzverstärkeranordnung mit einer Eingangsstufe 1 und einer Ausgangsstufe 2. Die Eingangsstufe 1 umfaßt einen Differenzverstärker, der zwei Operationsverstärker aufweist. Ein erster Operationsverstärker 3 und ein zweiter Operationsverstärker 4 sind jeweils als sogenannte Rail-to-Rail-Amplifier ausgeführt. Die nicht-invertieren-

P2003,0641

6

den Eingänge der Operationsverstärker 3, 4 bilden einen symmetrischen Signaleingang IN+, IN- der Verstärkeranordnung. Zwischen Ausgang und invertierendem Eingang der Operationsverstärker 3, 4 ist je ein Rückführungszweig 5, 6 vorgesehen.

- 5 Die Rückführungszweige 5, 6 umfassen je ein schaltbares Widerstandsnetzwerk 7, 8 und sind zudem über einen Querwiderstand 9 miteinander verkoppelt. Darüber hinaus ist eine Offset-Kompensationsstufe 10 vorgesehen, welche an die invertierenden Eingänge der Operationsverstärker 3, 4 angeschlossen ist. Die Offset-Kompensationsstufe 10 umfaßt mehrere steuerbare Stromquellen 11, 12, 13, 14, welche zu- und abschaltbar mit den Bias-Eingängen der Operationsverstärker 3, 4 verbunden sind und zudem jeweils einen Strom in programmierbarer Höhe abgeben. Somit können beliebig Offsets eingestellt und korrigiert werden. Die Widerstandsnetzwerke 7, 8 umfassen je eine Serienschaltung einer Vielzahl von Widerständen 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22; 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30. Die Widerstände 9 und 15 bis 30 sind in einer einzigen Widerstandskette miteinander verbunden. Die Widerstände 15 bis 22 des ersten Widerstandsnetzwerks 7 weisen an ihren Verbindungsknoten jeweils Abgriffe auf, welche an einen Multiplexer 31 geführt sind, der einen der Abgriffe schaltbar mit dem Bias-Eingang, also dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 3, verbindet. Der Abgriff zwischen den Widerständen 21, 22 der Widerstandskette ist fest mit dem Ausgang des Operationsverstärkers 3 verbunden. In Analogie hierzu ist das Widerstandsnetzwerk 8 aufgebaut und umfaßt einen Multiplexer 32, der jeweils schaltbar einen der Abgriffe der Widerstandskette 23 bis 30 mit dem invertierenden Eingang des Operationsverstärkers 4 verbindet. Der Ausgang des Operationsverstärkers 4 ist mit dem Abgriff zwischen den Widerständen 29, 30 verbunden. Der Widerstand 9, der als Querwiderstand ausgeführt ist, verbindet je einen Anschluß der Widerstände 15, 23 der Widerstandsnetzwerke 7, 8 miteinander.

35

Die Ausgangsstufe 2 weist einen Differenzverstärker 33 auf, der einen differenziellen Eingang und einen differenziellen

P2003,0641

7

Ausgang hat. Der differenzielle Ausgang des zweiten Differenzverstärkers 33 ist mit einem symmetrischen Signalausgang OUT+, OUT- der gesamten Differenzverstärkeranordnung gekoppelt. Weiterhin ist eine anhand von Figur 3 im Detail näher erläuterte Koppereinheit 34 vorgesehen, welche eingangsseitig die Ausgänge der Operationsverstärker 3, 4 der Eingangsstufe und ausgangsseitig die Eingänge des Differenzverstärkers 33 sowie dessen Ausgänge in einer programmierbaren, negativen Rückführung miteinander verkoppelt.

10

Die Widerstandsnetzwerke 7, 8 sowie die Koppereinheit 34 sind programmierbar ausgeführt. Hierfür sind jeweils Steuereingänge vorgesehen, welche die Multiplexer 31, 32 sowie die Koppereinheit 34 an Ausgänge eines Decoders 35 legen. Der Decoder 35 wandelt ein eingangsseitig anliegendes Soll-Verstärkungssignal um und steuert über einen 3 Bit breiten Datenbus die Multiplexer 31, 32 an zur Bereitstellung einer groben Verstärkungseinstellung. Die Feineinstellung der Verstärkung erfolgt über einen weiteren, 10 Bit breiten Datenbus, der einen Ausgang des Decoders 35 mit der Koppereinheit 34 verknüpft. Mit der 3-Bit Verstärker-Grobeinstellung kann ein Bereich von 1 bis 200 eingestellt werden. Die Feineinstellung der Verstärkung erfolgt in einem hoch auflösenden Einstellbereich von 1 bis 2047.

25

Ein weiterer Steuerbus 36, der eine Breite von 4 Bit aufweist, dient zum Grobeinstellen des Eingangs-Offset des Verstärkers und kann damit einen Bereich von ± 400 mV/V bezogen auf Versorgungsspannung abdecken. Eine Feineinstellung des Eingangs-Offsets des Verstärkers wird mit einem weiteren, 10 Bit breiten Datenbus 37 gewährleistet, der ebenfalls einen Ausgang des Decoders 35 mit der Offset-Kompensationsstufe 10 verbindet. Weiterhin ist ein 4 Bit breiter Steuerbus 38 vorgesehen, der eine Einstellung der Offset-Kompensationsfunktion ermöglicht. Der Decoder 35 hat einen 10 Bit breiten Eingang zum Zuführen von Verstärkungs- und Offset-Steuersignalen. Außerdem ist ein in Figur 1 nicht eingezeichneter Steu-

35

P2003,0641

8

ereingang zur Aktivierung der Programmierung des Datenbusses vorgesehen. Der Decoder 35 umfaßt interne Speicherregister zum Ablegen der aktuellen Programmierung aller oben beschriebenen Steuer- und Datenbusse.

5

Wenn die Grobeinstellung der Offset-Kompensation nicht benötigt wird, kann diese durch eine weitere Steuerleitung von 1 Bit Breite deaktiviert werden, wodurch eine deutliche Reduzierung der Stromaufnahme der gesamten Anordnung möglich ist.

10

Die beschriebene Differenzverstärkeranordnung verbindet die Vorteile eines großen Eingangsbereichs, eines großen Aussteuerbereichs, einer feinen Auflösung, einer hohen Linearität und einer präzisen Offset-Korrektur.

15

Figur 2 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Eingangsstufe 1' einer Differenzverstärkeranordnung gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip. Dabei ist die Offset-Kompensationsstufe 10', die an die Bias-Anschlüsse der Operationsverstärker 3, 4 angeschlossen ist, mit einer Strom-Brückenschaltung ausgeführt. Die Brückenschaltung umfaßt insgesamt vier programmierbare Stromquellen 39, 40, 41, 42, welche jeweils in Serienschaltung mit einem Schalter 43, 44, 45, 46 zwischen einem ersten Abgriffsknoten K1 und Versorgungs- bzw. Bezugspotential 47, 48 sowie zwischen einem zweiten Abgriffsknoten K2 und Versorgungs- bzw. Bezugspotential 47, 48 angeordnet sind. Mit den Schaltern 43 bis 46 sind die Stromquellen 39 bis 42 einzeln und unabhängig voneinander zu- und abschaltbar. Zudem ist die jeweilige Höhe der von den Stromquellen 39 bis 42 bereitgestellten Bias-Ströme unabhängig voneinander programmierbar.

20

25

30

Die Abgriffsknoten K1, K2 der Stromspiegelbrücke der Offset-Kompensationsstufe 10' sind jeweils mit invertierenden Eingängen der Operationsverstärker 3, 4 der Eingangsstufe 1 verbunden. Die Rückführungspfade 5, 6 an den Operationsverstärkern 3, 4 einschließlich der in Figur 2 lediglich schematisch

35

P2003,0641

9

gezeichneten, programmierbaren Widerstandsnetzwerke 7, 8 sowie Querwiderstand 9 entsprechen in Aufbau und vorteilhafter Wirkungsweise derjenigen von Figur 1 und werden deshalb an dieser Stelle nicht noch einmal beschrieben.

5

Die Programmierung der Stromhöhen der Stromquellen 39 bis 42 kann beispielsweise mittels geeigneter Digital-/Analog-Wandler in Abhängigkeit von vom Decoder 35 gelieferten Grob- und Fein-Offset-Steuersignalen erfolgen.

10

Figur 3 zeigt ein Ausführungsbeispiel der Ausgangsstufe 2', wie sie beispielsweise anstelle der Ausgangsstufe 2 von Figur 1 einsetzbar ist. An Ausgänge der Operationsverstärker 3, 4 der Eingangsstufe 1 ist je ein Digital-/Analog-Wandler 49, 50
15 angeschlossen, der in Abhängigkeit von dem 10 Bit breiten Steuerbus angesteuert wird, der die Feineinstellung der Verstärkung der Differenzverstärkeranordnung steuert. Ein voll differenziell aufgebauter Differenzverstärker 51 ist mit seinem invertierenden Eingang mit einem Ausgang des Digital-
20 /Analog-Wandlers 49 und mit seinem nicht-invertierenden Eingang an einen Ausgang des Digital-/Analog-Wandlers 50 angeschlossen. Der differenzielle Ausgang des zweiten Differenzverstärkers 51 ist in jeweils einer negativen Rückkopplung mit einem weiteren Eingang der Digital-/Analog-Wandler 49, 50
25 verbunden. An den Ausgang des Differenzverstärkers 51 ist ein weiterer Differenzverstärker 52 angeschlossen, der zusammen mit dem Differenzverstärker 51 in einer Gleichtakt-Rückkopplungsschleife verkoppelt ist. Hierdurch wird ein sogenanntes Common-Mode-Signal am Ausgang der Differenzverstärkeranord-
30 nung steuerbar eingestellt. Bevorzugt entspricht die Gleichtaktaussteuerung gerade der halbe Versorgungsspannung.

Figur 4 zeigt ein Anwendungsbeispiel für eine Verstärkeranordnung 53 gemäß dem vorgeschlagenen Prinzip anhand eines beispielhaften Blockschaltbildes. Es sind insgesamt vier
35 analoge Signaleingänge vorgesehen, an denen jeweils eine Verstärkeranordnung 53 wie in Figur 1 gezeigt angeschlossen ist.

P2003,0641

10

Bezugszeichenliste

	1	Eingangsstufe
	1'	Eingangsstufe
5	2	Ausgangsstufe
	2'	Ausgangsstufe
	3	Operationsverstärker
	4	Operationsverstärker
	5	Rückführungszweig
10	6	Rückführungszweig
	7	Widerstandsnetzwerk
	8	Widerstandsnetzwerk
	9	Querwiderstand
	10	Offset-Kompensationsstufe
15	11	Stromquelle
	12	Stromquelle
	13	Stromquelle
	14	Stromquelle
	15 bis 22	Widerstand
20	23 bis 30	Widerstand
	31	Multiplexer
	32	Multiplexer
	33	Differenzverstärker
	34	Koppelstufe
25	35	Decoder
	36	Steuerung Strombrücke
	37	Feinsteuerung Offset
	38	Grobsteuerung Offset
	39 bis 42	programmierbare Stromquelle
30	43 bis 46	Schalter
	47	Versorgungspotentialanschluß
	48	Bezugspotentialanschluß
	49	Digital-/Analog-Wandler
	50	Digital-/Analog-Wandler
35	51	Differenzverstärker
	52	Differenzverstärker
	53	Verstärkeranordnung

P2003,0641

11

IN+ Signaleingang

IN- Signaleingang

OUT+ Signalausgang

OUT- Signalausgang

5

P2003,0641

12

Patentansprüche

1. Differenzverstärkeranordnung (53), aufweisend
 - eine Eingangsstufe (1) mit einem ersten Differenzverstärker (3, 4), mit einer Offset-Kompensationsstufe (10), die
5 zumindest eine steuerbare Stromquelle (39) umfaßt und an einem Bias-Eingang des ersten Differenzverstärkers (3, 4) angeschlossen ist und
 - eine Ausgangsstufe (2) mit einem zweiten Differenzverstärker (33), die der Eingangsstufe (1) nachgeschaltet ist,
10
2. Differenzverstärkeranordnung nach Anspruch 1,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
ein programmierbares Widerstandsnetzwerk (7) vorgesehen ist,
15 das in einem Rückführungsweig (5) des ersten Differenzverstärkers (3, 4) angeordnet ist zur Steuerung der Verstärkung der Eingangsstufe (1).
3. Differenzverstärkeranordnung nach Anspruch 2,
20 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
das programmierbares Widerstandsnetzwerk (7) eine Serienschaltung mehrerer Widerstände (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22) aufweist, bei der jeweils Abgriffe zwischen den Widerständen (15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22) vorgesehen sind,
25 derart, daß in Abhängigkeit von der gewünschten Verstärkung ein programmierbarer Widerstandswert in den Rückführungsweig (5) des ersten Differenzverstärkers (3, 4) schaltbar ist.
- 30 4. Differenzverstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 3,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
der erste Differenzverstärker einen ersten Operationsverstärker (3) und einen zweiten Operationsverstärker (4) umfaßt,
35 bei denen jeweils nicht-invertierende Eingänge einen symmetrischen Signaleingang (IN+, IN-) der Differenzverstärkeranordnung (53) bilden und bei denen der Ausgang auf den

P2003,0641

13

jeweiligen invertierenden Eingang in je einem Rückführungs-
zweig (5, 6) verbunden ist.

5. Differenzverstärkeranordnung nach Anspruch 4,

- 5 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
daß der Bias-Eingang des ersten Differenzverstärkers jeweils
am invertierenden Eingang des ersten Operationsverstär-
kers (3) und des zweiten Operationsverstärkers (4) gebildet
ist.

10

6. Differenzverstärkeranordnung nach 5,

- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die Offset-Kompensationsstufe (10') eine Brückenschaltung um-
faßt mit insgesamt vier programmierbaren Stromquellen (39,
15 40, 41, 42) , bei der je ein Abgriffsknoten (K1, K2) der
Brückenschaltung mit je einem Bias-Eingang des ersten Opera-
tionsverstärkers (3) und des zweiten Operationsverstär-
kers (4) gekoppelt ist.

20 7. Differenzverstärkeranordnung nach 6,

- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
die vier programmierbaren Stromquellen (39, 40, 41, 42) je-
weils unabhängig voneinander zu- und abschaltbar mit den Bi-
as-Eingängen des ersten und zweiten Operationsverstärkers (3,
25 4) gekoppelt sind.

8. Differenzverstärkeranordnung nach einem der Ansprüche 1
bis 7,

- d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, daß
30 der zweite Differenzverstärker (51) eine negative Rückführung
mit programmierbarem Widerstand (49, 50) umfaßt, derart, daß
die Ausgangsstufe (2') eine programmierbare Verstärkung auf-
weist.

35

P2003,0641

14

Zusammenfassung

Differenzverstärkeranordnung

- 5 Es ist eine Differenzverstärkeranordnung (53) mit einer Eingangsstufe (1) und einer Ausgangsstufe (2) angegeben. Die Eingangsstufe (1) umfaßt einen Differenzverstärker (3, 4), an den eine Offset-Kompensationsstufe (10) angeschlossen ist, die zumindest eine steuerbare Stromquelle (11) umfaßt und ein
- 10 Bias-Signal des Differenzverstärkers (3, 4) steuert. Mit der beschriebenen Differenzverstärkeranordnung, welche bevorzugt als Instrumentenverstärker einsetzbar ist, können sehr präzise Kompensationen von Eingangs-Offsets durchgeführt werden.

15 Figur 1

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER: _____**

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.